



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ SOUČÁSTI NA CNC STROJI

MACHINING OF COMPONENTS ON CNC MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Petr OSIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Osička

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Obrábění součásti na CNC stroji

v anglickém jazyce:

Machining of components on CNC machines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rozbor součásti (3D model, kótování, materiál, montážní sestava).
2. Návrh technologie.
3. Kapacitní propočet.
4. Sestavení NC programu.
5. Výroba vzorového kusu.
6. Zhodnocení, diskuze, závěr.

Cíle bakalářské práce:

Na základě funkce součásti je sestaven obráběcí proces s využitím moderní techniky. Pro jeho řízení je přiložen NC program. Dokumentace pro TPV obsahuje základní technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
3. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
4. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.
5. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 22.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výrobou rotoru elektromotoru na CNC soustruhu. V první části je popsána funkce vyráběné součásti a je navržena vybraná součást. V další kapitole je navržen a popsán výrobní postup obrobení hřídele a následně je popsán další postup výroby rotoru. Jsou provedeny základní kapacitní propočty výroby. V další části je navržen NC program, který je v závěrečné části použit pro vzorovou výrobu součásti.

Klíčová slova

hřídel, rotor, CNC obrábění, NC program, soustružení

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the manufactory of the rotor for the electric motor on the CNC lathe. The first part describes the function and design of manufactured constituent part. The next chapter designs and describes production process of machining the shaft and next steps of manufactory are described. They basic production capacity calculations are made. In the next part the NC program is designed, which is used to manufacture the shaft as a model product.

Key words

shaft, rotor, CNC machining, NC program, turning

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OSIČKA, Petr. *Obrábění součástí na CNC stroji*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 43 s. 12 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Obrábění součástí na CNC stroji** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Petr Osička

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z Vysokého učení technického v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Bc. Janu Cihlářovi, manažerovi výroby ve Festool s.r.o., za poskytnutí exkurze ve firmě, která mi poskytla hodnotné informace pro vypracování bakalářské práce.

Také chci poděkovat Jiřímu Čechovi z Vysokého učení technického v Brně za cenné rady a asistenci při samotné výrobě ve školní dílně.

Poděkování také patří mé rodině za psychickou a finanční podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI.....	10
1.1 Funkce součásti	10
1.1.1 Komutátorový motor sériový.....	11
1.1.2 Konstrukce komutátorových motorů	11
1.1.3 Výroba nejdůležitějších částí komutátorového elektromotoru	11
1.2 3D model.....	12
1.3 Kótování.....	13
1.4 Materiál	13
1.4.1 Charakteristika oceli a příklady použití	13
1.5 Polotovar	13
1.5.1 Rozměry polotovaru	13
1.5.2 Procento odpadu	14
1.6 Montážní sestava.....	15
2 NÁVRH TECHNOLOGIE	16
2.1 Technologický postup	16
2.2 Volba nástrojů pro soustružení.....	17
2.2.1 Hrubovací nůž.....	17
2.2.2 Dokončovací nůž	18
2.2.3 Závitový nůž	19
2.2.4 Zapichovací nože	19
2.3 Materiály vyměnitelných břitových destiček	20
2.3.1 T8330	20
2.3.2 T8030	21
2.3.3 P20	21
2.4 FESTOOL	21
2.4.1 Technologický postup firmy	22
3 KAPACITNÍ PROPOČET	25
3.1 Řezná rychlost v_c a posuvová rychlost v_f	25
3.2 Jednotkový strojní čas	25

3.2.1	Celkový čas operace 4/4	27
3.2.2	Celkový čas operace 7/7	27
3.2.3	Kapacita výroby	27
3.2.4	Hmotnost odpadu	28
4	SESTAVENÍ NC PROGRAMU	29
4.1	Přehled použitých funkcí.....	29
4.1.1	G funkce.....	29
4.1.2	M funkce	29
4.2	Přehled použitých cyklů	30
4.2.1	Cyklus odběr třísky – CYCLE95	30
4.2.2	Cyklus řezání závitů – CYCLE97	31
4.2.3	Cyklus zápich – CYCLE93.....	31
4.3	NC program.....	32
4.3.1	Program číslo 1	32
4.3.2	Program číslo 2	34
5	VÝROBA VZOROVÉHO KUSU	36
5.1	Výroba.....	36
6	DISKUZE	38
	ZÁVĚR	39
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	40
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	41
	SEZNAM PŘÍLOH.....	43

ÚVOD

Automatizace představuje efektivní metodu zvyšování produktivity práce v průmyslové výrobě. Částí tohoto procesu je využití počítačů a podpůrných softwarových prostředků (CA, CAD, CAM, CIM, CAP atd.) v oblasti technické přípravy výroby a také nasazení číslicově řízených strojů ve výrobě. Aplikace číslicově řízených strojů ve výrobě přináší nejen zvýšení produktivity a kultury práce, ale i zvýšení opakované přesnosti a zároveň možnost obrábění tvarově složitých a v mnohých případech standardními technologiemi nevyrobitelných součástí.

Problematika NC strojů (Numerical Control - číslicově řízený obráběcí stroj) se historicky vyvíjela již od čtyřicátých let našeho století, kdy byla především použita ve zbrojním a později i kosmickém průmyslu.

NC stroj představuje zařízení, které umožňuje zvýšení kvality a produktivity strojírenské výroby. Na koncepci a technické řešení NC stroje jsou kladeny specifické požadavky z důvodu požadované přesnosti tvaru a rozměrů obráběných součástí, drsnosti obráběného povrchu, bezpečnosti stroje, bezpečné a snadné obsluhy atd. Číslicově řízenými obráběcími stroji nazýváme stroje, nebo celá seskupení strojů, jejichž pracovní cyklus je řízen pomocí číslicových obvodů nebo zařízení (Numerical Control). Aby mohly NC stroje pracovat, je nutné mít pro jejich řízení NC program, který obsahuje všechny geometrické a technologické informace výrobku. NC stroj chápeme jako číslicové řízení, které provádí řízení na základě číslicové informace, která je do systému zadána formou NC programu na papírovém, magnetickém či jiném médiu.

Mechanická část NC stroje odpovídá danému typu stroje a jeho technologické realizaci. Součástí mechanického řešení NC stroje jsou vedení (vodící plochy), jejichž kvalita a provedení má přímý vliv na přesnost NC stroje.

Současný stav třískového obrábění a perspektivní směry rozvoje ukazují, že obrábění zůstává a zůstane ve strojírenské výrobě základní technologickou profesí. Oproti odlévání zajišťuje třískové obrábění podstatně vyšší přesnost, a tím i vyšší spolehlivost jednotlivých elementů výrobků a jejich celků.

Soustružení je metoda obrábění používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů, při níž se většinou používají jednobřité nástroje různého provedení. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také velmi frekventovanou metodu využívanou ve strojírenství.

Číslicový řídicí systém a později počítač je schopen podstatně rychleji dodávat v reálném čase informace o výrobním procesu, než pomalu reagující lidský činitel.

Strojírenská technologie jako věda analyzuje výrobní proces do všech podrobností tak, aby byly vytvořeny účelné a ekonomické podmínky pro aplikaci nejnovějších poznatků vědy a techniky ve výrobním procesu a ze všech technických věd má největší význam pro dosažení maximální produktivity a hospodárnosti výroby.

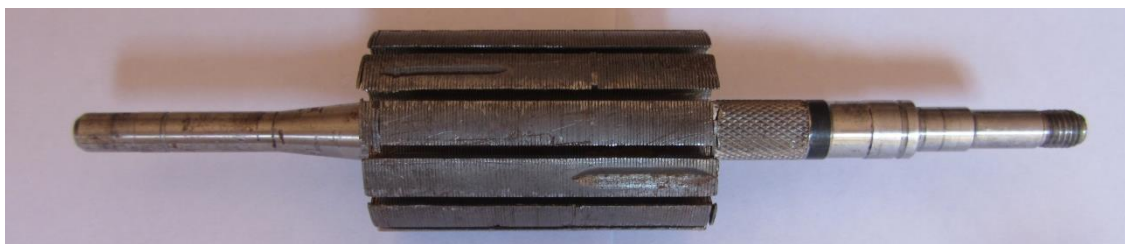
Pro praktickou výrobu jsem si vybral hřídel z rotoru elektromotoru úhlové brusky. Je to rotor komutátorového elektromotoru.

1 ROZBOR SOUČÁSTI

V následující kapitole bude popsána vyráběná součást a obecná charakteristika komutátorových elektromotorů. Bude popsán návrh hřídele, vhodný materiál, dále bude vybrán vhodný válcovaný polotovar pro jeho výrobu. Také bude popsána funkce součásti v montážní sestavě.

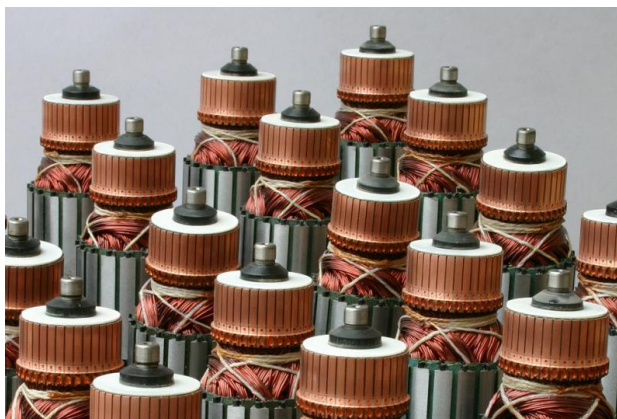
1.1 Funkce součásti

Vybraná součást (obr. 1.1) je hřídel rotoru komutátorového elektromotoru z ruční rotační brusky.



Obr. 1.1 Součást vybraná jako vzor pro výrobu

Komutátorové motory (obr. 1.2) zastupují nezaměnitelné místo v oblasti malých pohonů v automobilech, v ručním nářadí a kuchyňských přístrojích při napájení střídavým napětím z elektrorozvodné sítě. Komutátorové motory obsahují komutátor, tj. kontaktní část spojenou s rotorem. Mechanický komutátor je tvořen rotačně uloženými měděnými lamelami, navzájem oddělenými izolací, které vytvářejí spolu s tzv. kartáči (uhlíkovými sběrači) kluzný kontakt určený k přívodu elektrického proudu do rotoru. Kluzný kontakt má omezenou životnost. Pro činnost rotačních pohonů v automobilech a v domácnostech bývá i takto omezená životnost dostačující. Problémy obvykle nastávají v průmyslových aplikacích, zejména při použití v nepřetržitém provozu. Nepříjemnou vlastností kluzného kontaktu mezi komutátorem a kartáči je jiskření, jehož rušivý účinek může velmi negativně ovlivňovat elektromagnetickou kompatibilitu (EMC – Electro Magnetic Compatibility) motoru a celého zařízení. S rozvojem elektroniky stále narůstají požadavky na EMC a vyřešení bývá někdy vážným problémem.



Obr. 1.2 Ilustrační fotografie komutátorových rotorů

1.1.1 Komutátorový motor sériový

Vinutí statoru (budiče) a rotoru (kotvy) jsou zapojena v sérii. U malých dvoupólových motorů je kotva často zapojena mezi dvě cívky statoru, mj. za účelem snížení nežádoucího rušení.

Sériové komutátorové motory mohou pracovat při napájení proudem jak střídavým, tak stejnosměrným. Bývají označovány názvem univerzální komutátorové motory. Lepší vlastnosti mají při stejnosměrném napájení. Sériový komutátorový motor má velký záběrný moment i proud a se snižujícím se momentovým zatížením výrazně rostou otáčky a proud klesá. Momentová charakteristika se podobá hyperbole. Jakákoliv změna zatěžovacího momentu výrazně ovlivní otáčky. O takové charakteristice se říká, že je „měkká“.

U větších sériových motorů (výkony nad 200 W) je nepřipustné snížit zatížení k nule, protože by otáčky naprázdno mohly vzrůst natolik, že by odstředivou silou mohlo dojít až k poškození stroje. Sériový motor tedy musí být stále zatížen. Bývá vhodný např. pro pohon ventilátoru, který přirozeně nedovolí běh naprázdno. Otáčky sériového motoru lze řídit změnou velikosti napětí. Komutátorové sériové motory se ve velké míře využívají pro pohon ručního nářadí a kuchyňských strojů.

1.1.2 Konstrukce komutátorových motorů

Konstrukci statoru komutátorového motoru lze volit podle napájení. Pro stejnosměrné napájecí napětí se volí materiál statoru z masivního magneticky měkkého materiálu, pro střídavé napájení je nutné použít svazek – paket ocelových izolovaných plechů, podobně jako u asynchronních strojů. Ve statoru je umístěno budící vinutí nebo permanentní magnety, které vytvářejí budící magnetický tok. Rotor komutátorového motoru musí být vždy tvořen svazkem izolovaných plechů z křemíkové elektrooceli s drážkami, ve kterých je vinutí kotvy.

Cívky vinutí rotoru jsou zapojeny do lamel měděného komutátoru. Přívod elektrické energie na komutátor zajišťují kartáče (uhlíky) prostřednictvím kluzného kontaktu kartáč-komutátor. Před prvním uvedením do provozu je obvykle nutné motor tzv. zaběhnout. Zaběhnutí komutátorového motoru upraví plochu styku mezi kartáči a komutátorem a vytvoří na povrchu komutátoru vrstvu patiny, která je důležitá pro dobrý chod komutátorového stroje. Patina je hladká vrstva ze sloučenin mědi, výrazně tvrdší než samotná měď a s malým součinitelem tření. Má výrazně lepší mechanické a elektrické vlastnosti pro provoz motoru než čistě obrobený povrch mědi.

Základem materiálu kartáčů je uhlík v kombinaci s různými přísadami – podle pracovních podmínek stroje. Kartáč je umístěn v držáku, který musí v provozu zajistit stabilní (nekmitající) přítlak kartáče na komutátor. Volba materiálu kartáče má výrazný vliv na kvalitu provozu komutátorového motoru, na jeho životnost a na elektromagnetické rušení vlivem komutace. Kluzný kontakt kartáč - komutátor je zásadní část komutátorového stroje. Je-li tato část v pořádku, je většina problémů spojených s provozem preventivně odstraněna.

1.1.3 Výroba nejdůležitějších částí komutátorového elektromotoru

K nejdůležitějším částem motoru patří magnetický obvod, vinutí, kryt, hřídel a jeho uložení a samozřejmě kontakty pro přívod elektrického proudu.

1.1.3.1 Magnetické obvody

Nezbytnou částí každého elektromotoru je magnetický obvod. Magnetický obvod je zprostředkovatelem přeměny elektrické energie na energii mechanickou.

Pro vedení střídavého magnetického toku je nutné používat výhradně svazky vzájemně izolovaných plechů s co největším elektrickým odporem ke snížení ztrát vířivými proudy a s co nejlepší magnetickou vodivostí. Takovou podmínku obvykle nejlépe splňují izotropní plechy s přísadou křemíku. Z tohoto plechu se na stříhacích rychlolisech vystřihují speciálními stříhacími nástroji tvary podle druhu motoru.

Plechys jsou spojovány do tzv. svazků – paketů. Pakety je veden magnetický tok a je jimi provedeno vinutí.

1.1.3.2 Vinutí

Vinutí přenáší motorem elektrický proud, který se spolu s magnetickým polem podílí na elektromechanické přeměně.

Pro navíjení komutátorových rotorů se používají produktivní navíjecí stroje. Moderní navíječka navine cívku do příslušných drážek, připojí její konce k příslušným lamelám komutátoru bodovým svařováním.

Nakonec se čela vinutí obšívají tkanicí nebo nití kvůli mechanickému zpevnění cívek vinutí.

1.1.3.3 Impregnace vinutí

Hlavní podmínkou správné funkce a vysoké účinnosti elektromotorů je ochrana vinutí před negativními vnějšími vlivy (např. vlhkost, chemické a biologické látky, škůdci atd.)

Impregnační mezer ve vinutí zakapáním lakem nebo pryskyřicí je zabezpečena ochrana elektromotoru před vnějšími vlivy.

1.1.3.4 Obrábění a montáž

Komutátor musí být po nanesení impregnační látky důkladně obroben. Na okrajích lamel nesmí zůstat otřepy. Následně je nutné komutátor tzv. zaběhnout. Zabíháním po dobu několika hodin se na povrchu komutátoru vytvoří patina s výrazně lepšími mechanickými vlastnostmi než materiál samotného komutátoru.

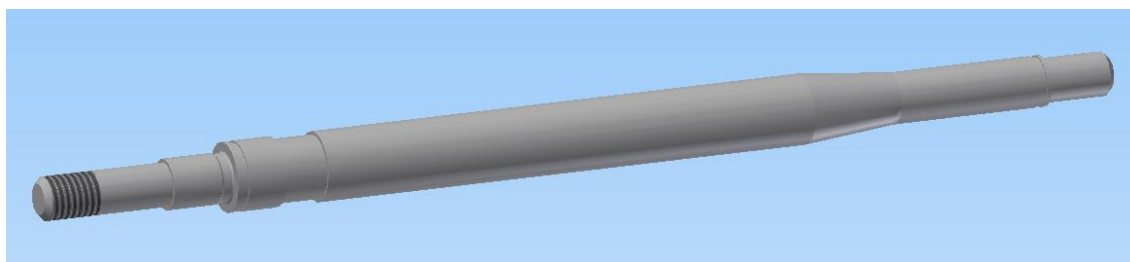
Před samotnou montáží je nutné rotor vyvážit buď nakapáváním plastického materiálu, nebo odebíráním materiálu z paket.

Hotový rotor je nakonec smontován do finálního výrobku. Elektromotor musí splňovat zákaznické požadavky a zároveň musí být bezpečný pro své okolí a musí být šetrný k životnímu prostředí.

1.2 3D model

3D model součásti byl vytvořen ve studentské verzi programu Autodesk Inventor 2013.

Model hřídele (obr. 1.3) byl vytvořen pomocí integrovaného generátoru hřídele.



Obr. 1.3 3D model součásti vytvořen v programu Autodesk Inventor 2013

1.3 Kótování

Z hlediska funkce součásti byly určeny geometrické a rozměrové přesnosti tvarových prvků na hřídeli odpovídajících jejich drsností povrchu. Na hřídeli jsou kótovány dvě válcové plochy pro uložení ložisek, plochy pro zástřík adhezivní hmoty a závit pro umístění pastorku pro převod točivého momentu.

1.4 Materiál

Pro součást byl zvolen materiál ČSN 12020 (Značka EN: C16E, Číslo EN: 1.1148). Jedná se o nelegovanou uhlíkovou ocel.

1.4.1 Charakteristika oceli a příklady použití

Použitý materiál je ocel k cementování se střední pevností v jádře po kalení. Méně namáhané strojní součásti silničních motorových vozidel určené k cementování se střední pevností v jádře po kalení; např. méně namáhaná ozubená kola, vačkové hřídele, vložky, větší řetězová kola, pouzdra, vodítka apod. Záchytné zvony a trny pro naftový průmysl. Ve stavu žíhaném na háky jeřábů, výtahů apod. Součásti k cementování lisované z plechu. Ocel není vhodná ke galvanickému pokovování.

Tab. 1.1 Chemické složení materiálu a jeho mechanické vlastnosti

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]
0,13 – 0,20	0,6 – 0,9	0,15 – 0,4	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,25	max. 0,3	max. 0,3
Mechanické vlastnosti			Tepelně nezpracované				
Pevnost v tahu Rm [MPa]			550 - 900				
Mez kluzu Re [MPa]			350				

1.5 Polotovár

„Polotovár“ obecně je rozpracovaný nedokončený výrobek, který vyžaduje další následné zpracování na finální produkt. Výchozím polotovarem při soustružení je buď tyčový materiál, nebo výkovky, vylisky a odlitky.

Zvolený polotovár je normalizovaný podle normy ČSN EN 10060 (Tyče ocelové kruhové válcované za tepla).

1.5.1 Rozměry polotovaru

Celá plocha polotovaru bude obráběna, proto se musí určit rozměry polotovaru kvůli přídávům materiálu na obrábění. Rozměry polotovaru jsou určeny podle následujících vztahů.

Přídavek na průměr polotovaru se určí podle vztahu (1.1).

$$p = 0,05 * d + 2 \quad (1.1)$$

kde: p [mm] - přídavek na průměr,
 d [mm] - maximální průměr obrobku.

$$p = 0,05 * d + 2 = 0,05 * 11 + 2 = 2,55 \text{ mm}$$

Celkový průměr polotovaru d_p [mm] je určen ze vztahu (1.2).

$$d_p = p + d \quad (1.2)$$

kde: p [mm] - přídavek na průměr,
 d [mm] - maximální průměr obrobku.

$$d_p = p + d = 2,55 + 11 = 13,55 \text{ mm}$$

Průměr polotovaru byl zvolen 14 mm, kvůli dostupnosti tohoto rozměru na trhu.

Celková délka je určena podle vztahu (1.3).

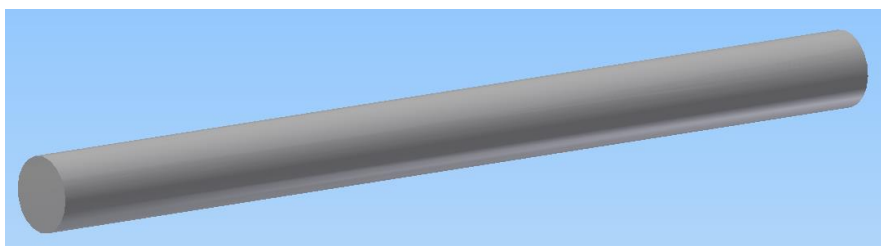
$$l_c = l + p_l \quad (1.3)$$

kde: l_c [mm] - celková délka polotovaru,
 l [mm] - délka obrobku,
 p_l [mm] - přídavek na délku.

Přídavek na délku polotovaru p_l je stanoven rozsahem $2 \div 4$ mm, byl zvolen přídavek 3 mm.

$$l_c = l + p_l = 178 + 3 = 181 \text{ mm}$$

Výchozí rozměry polotovaru pro obrábění jsou tedy $\Phi 14-181$ ČSN EN 10060 (viz obr. 1.4).



Obr. 1.4 3D model tyčového polotovaru vytvořen v Autodesk Inventor 2013

1.5.2 Procento odpadu

Procento odpadu se vypočítá podle vztahu (1.4).

$$\eta_o = 100 * \left(1 - \frac{m_c}{m_h}\right) \quad (1.4)$$

kde: η_o [%] - procento odpadu,
 m [kg] - čistá hmotnost (hmotnost obrobené součásti),
 m_h [kg] - hrubá hmotnost (hmotnost polotovaru).

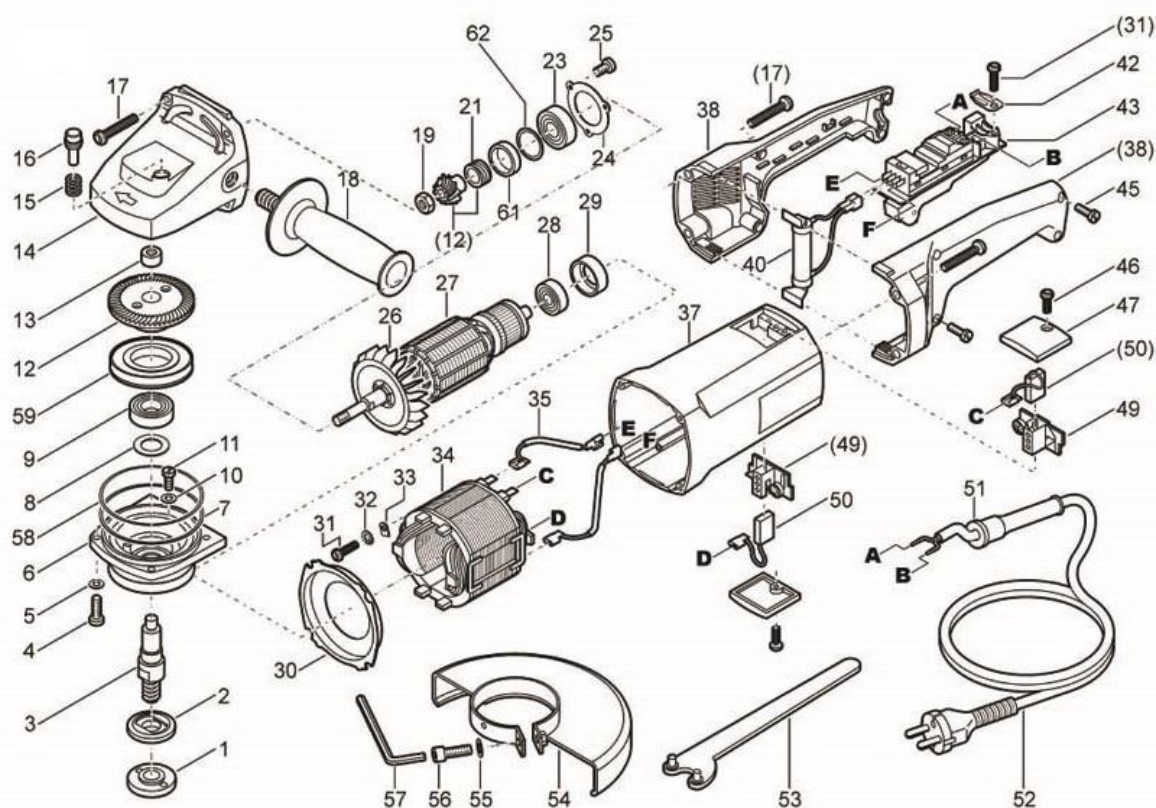
Čistá i hrubá hmotnost byla vypočítána pomocí programu Autodesk Inventor 2013.

$$\eta_0 = 100 * \left(1 - \frac{m_{\check{c}}}{m_h}\right) = 100 * \left(1 - \frac{0,106}{0,219}\right) = 51,6 \%$$

Procento odpadu je velice vysoké. Je to způsobeno použitím válcovaného polotovaru. Při použití výkovku jako polotovar by bylo procento odpadu menší.

1.6 Montážní sestava

Na obrázku 1.5 je naznačeno montážní schéma rotační ruční brusky. Hřídel (27) je po opatření vinutím a komutátorem (viz podkapitola 1.1), je osazena ložisky (23, 28), je nalisován ventilátor (26) a pastorek (12), pro přenos točivého momentu vyvolaného chodem elektromotoru je čelně přitažen matkou (19). Pastorek (12) pak převodem šikmým ozubením přenáší řezné otáčky na hřídel (3), pohánějící brusný kotouč brusky.



Obr. 1.5 Schéma sestavy rotační brusky. (01 - Matice, 02 - Upínací příruba, 03 - Vřeteno, 04 - Šroub, 05 - Podložka, 06 - Ložiskové víko, 07 - Vyrovnávací podložka, 08 - Kroužek, 09 - Ložisko, 10 - Podložka, 11 - Šroub, 12 - Převod, 13 - Jehlové pouzdro, 14 - Montážní sada, 15 - Pružina, 16 - Blokovací čep, 17 - Šroub, 18 - Držadlo, 19 - Matice, 21 - Těsnící šnek, 23 - Ložisko, 24 - Přichytka, 25 - Šroub, 26 - Ventilátor, 27 - Rotor, 28 - Ložisko, 29 - Pouzdro ložiska, 30 - Vzduchovodná vložka, 31 - Šroub, 32 - Podložka, 33 - Přichytka, 34 - Stator, 35 - Přípojné vedení, 37 - Motorová skříň, 38 - Držadlo, 40 - Rezistor, 42 - Přichytka, 43 - Spínač, 45 - Šroub, 46 - Šroub, 47 - Víčko, 49 - Držák kartáče, 50 - Kartáč (sada 2 ks), 51 - Návlačka, 52 - Pohyblivý přívod, 53 - Klíč, 54 - Kryt, 55 - Podložka, 56 - Šroub, 57 - Klíč, 58 - O kroužek, 61 - Těsnění, 62 - Vyrovnávací podložka). [5]

2 NÁVRH TECHNOLOGIE

V následující kapitole bude představena část technologie výroby rotoru komutátorového elektromotoru. Bude se zabývat třískovým obráběním hřídele rotoru na CNC soustruhu SPN12 CNC používajícím systém Sinumerik 810D.

2.1 Technologický postup

Jako první je navržen technologický postup výroby hřídele. Tento postup obsahuje stroje a nástroje poskytnuty školní dílnou.

Tab. 2.1 Technologický postup

Technologický postup				
Součást: hřídel		Materiál: 12 020		Polotovar: $\Phi 14-180$ ČSN EN 10060
Hmotnost polotovaru: 0,219 kg		Hmotnost hřídele: 0,106 kg		Výkres: příloha 1
Č. op.	Typ stroje	Třídící číslo:	Druh operace	Nástroje, kontrolní měřidla
1/1	Soustruh SV18 RA/750	04124	Zarovnat čela na délku $178 \pm 0,1$ Navrtat středící důlky A2,5 ČSN 01 4915.	Posuvné měřítko (0÷300) DIN 862 Posuvné měřítko Tříčelist'ové vrtací sklíčidlo Středící vrták ČSN 22 1110 tvar A Uběrací nůž ohnutý ČSN 223712 Univerzální tříčelist'ové sklíčidlo
2/2	Technická pračka	26344	Odstranění mastnoty a nečistot.	
3/3	OTK	09863	Kontrolovat rozměr $181 \pm 0,5$. Četnost kontrol 10 %.	Posuvné měřítko (0÷300) DIN 862
4/4	Soustruh SPN12 CNC/ Sinumerik 810D	34441	Upnout polotovar mezi hroty s čelním unášením Soustružit tvar podle NC programu OSICKA_P1.MPF navrženého podle výkresu.	Posuvné měřítko (0÷150) DIN 862 Čelní unášec NUH 16 Uběrací hrubovací nůž stranový – Držák PCLNL 2525 K 12 – VBD CCMT 09T304E-FM Uběrací dokončovací nůž stranový – Držák PDXNL 2525 K 15 – VBD DNMG 150404E-FM Závitový nůž – Držák SEL 2525 K16 – VBD TN 16ER100M Zapichovací nůž – Držák L240.2525.01 – VBD 217.0060.00
5/5	Technická pračka	26344	Odstranění mastnoty a nečistot	
6/6	OTK	09863	Kontrolovat rozměry $178 \pm 0,1$; $\Phi 11$ j6; $\Phi 8$ k6; $\Phi 7$ h6;	Posuvné měřítko (0÷300) DIN 862 Posuvné měřítko (0÷150) DIN 862 Závitový kalibr L0300500.0070

Technologický postup


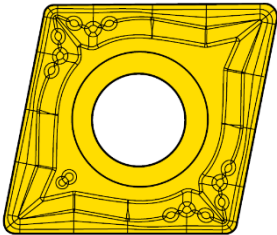
			Kontrolovat drážky 1,1 H13 a $\Phi 10,2$ h11; 7 a $\Phi 10$. Kontrolovat závit M7-6g Četnost kontrol 20 %.	
7/7	Soustruh SPN12 CNC/ Sinumerik 810D	34441	Upnout polotovar mezi hroty s čelním unášením. Soustružit tvar podle NC programu, navrženého podle výkresu.	Posuvné měřítko (0÷150) DIN 862 Čelní unášeč NUH 16 Uběrací hrubovací nůž stranový – Držák PCLNL 2525 K 12 – VBD CCMT 09T304E-FM Uběrací dokončovací nůž stranový – Držák PDXNL 2525 K 15 – VBD DNMG 150404E-FM Zapichovací nůž – Držák L240.2525.01 – VBD 217.0060.00
8/8	Technická pračka	26344	Odstranění mastnoty a nečistot.	
9/9	OTK	09863	Kontrolovat rozměry $178 \pm 0,1$; $\Phi 11$ j6; $\Phi 7$ k6; $\Phi 8$. Kontrolovat drážky 0,7 H13 a $\Phi 7,4$ h11. Četnost kontrol 20 %.	Posuvné měřítko (0÷300) DIN 862 Posuvné měřítko (0÷150) DIN 862

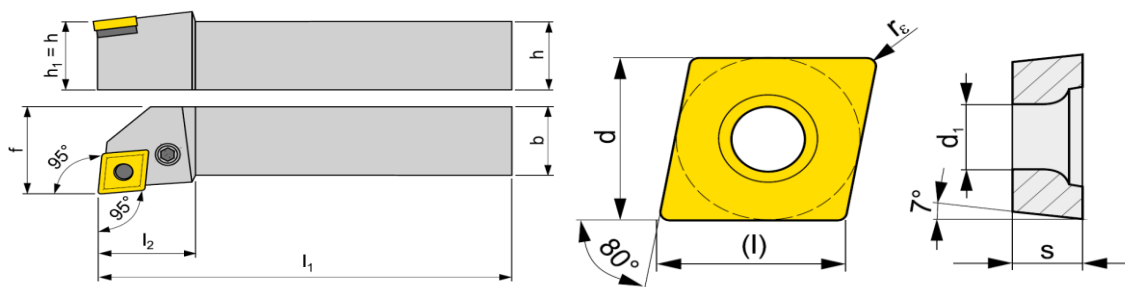
2.2 Volba nástrojů pro soustružení

V následující kapitole jsou představeny nástroje vybrány pro výrobu naší hřídele. Je zde obsažen stranový nůž pro hrubování, stranový nůž pro operaci dokončování, závitový nůž a zapichovací nůž. Nástroje byly vybrány z katalogů firmy Pramet Tools, s.r.o. (dále jen Pramet Tools), která sídlí v Šumperku a firmy Hartmetall Werkzeugfabrik - Paul Horn GmbH (dále jen Horn) sídlící v Tübingenu na jihozápadě Německa.

2.2.1 Hrubovací nůž

Tab. 2.2 Nůž pro operaci hrubování byl vybrán z katalogu firmy Pramet Tools.

PCLNL 2525 K 12	CCMT 09T304E-FM	Řezné vlastnosti	Materiál
		$v_c = (157,5 \div 180,0) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f = (0,10 \div 0,30) \text{ mm}$ $a_p = (0,4 \div 3,0) \text{ mm}$	T8330



Obr. 2.1 Rozměry hrubovacího nože

Tab. 2.3 Rozměry hrubovacího nože PCLNR 2020 K12 (viz obr. 2.1)


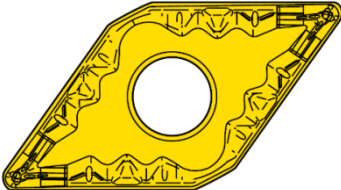
$h = h_1$ [mm]	b [mm]	f [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]
20	20	25	125	36

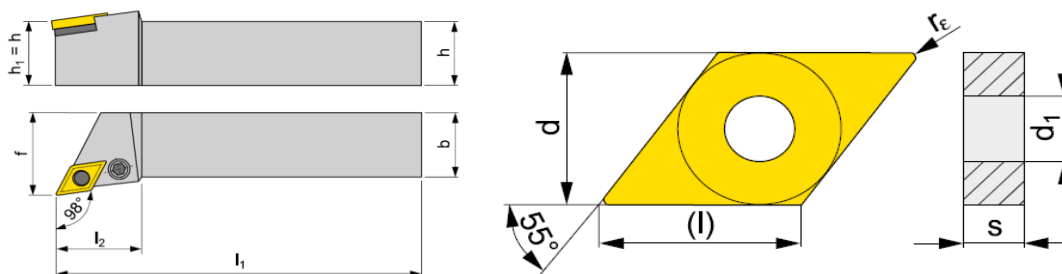
Tab. 2.4 Rozměry vyměnitelné břitové destičky hrubovacího nože CCMT 09T304E-FM (viz obr. 2.1)

(l) [mm]	d [mm]	d_1 [mm]	s [mm]	r_e [mm]
9,7	9,525	4,5	3,97	0,4

2.2.2 Dokončovací nůž

Tab. 2.5 Nůž pro operaci dokončování byl vybrán z katalogu firmy Pramet Tools.

PDXNL 2525 K 15	DNMG 150404E-FM	Řezné vlastnosti	Material
		$v_c = (215,3 \div 246,0) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f = (0,10 \div 0,24) \text{ mm}$ $a_p = (0,5 \div 3,0) \text{ mm}$	T8330



Obr. 2.2 Rozměry dokončovacího nože

Tab. 2.6 Rozměry dokončovacího nože PDXNR 2020 K15 (viz obr. 2.2)


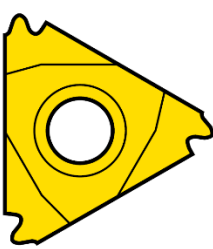
$h = h_1$ [mm]	b [mm]	f [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]
20	20	25	125	40

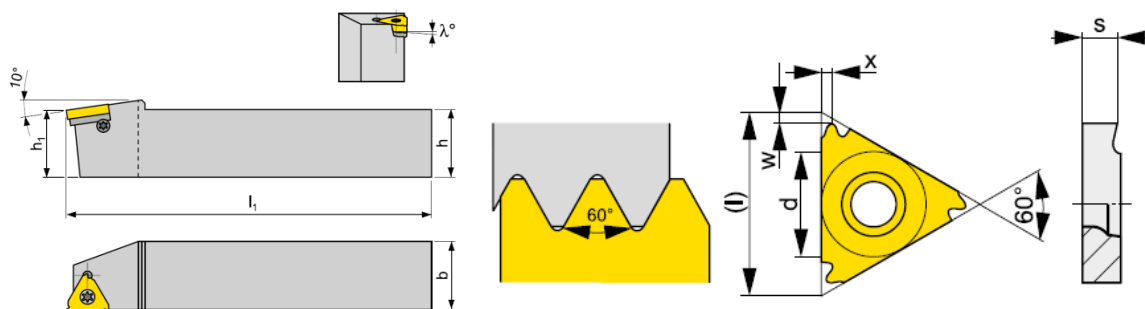
Tab. 2.7 Rozměry vyměnitelné břitové destičky dokončovacího nože DNMG 150404E-FM (viz obr. 2.2)

(l) [mm]	d [mm]	d ₁ [mm]	s [mm]	r _ε [mm]
15,5	12,7	5,16	4,76	0,4

2.2.3 Závitový nůž

Tab. 2.8 Nůž pro operaci řezání závitu byl vybrán z katalogu firmy Pramet Tools.

SEL 2525 K16	TN 16ER100M	Řezné vlastnosti	Materiál
		$v_c = (115,5 \div 132,0) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ Stoupání P = 1 mm	T8030



Obr. 2.3 Rozměry závitového nože

Tab. 2.9 Rozměry závitového nože SER 2020 K16 (viz obr. 2.3)

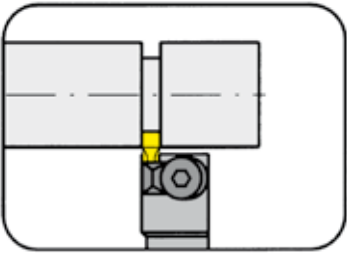
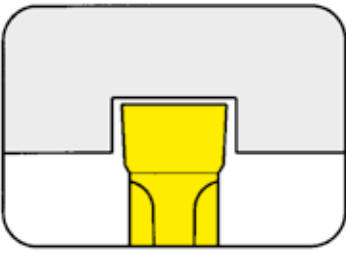
h = h ₁ [mm]	b [mm]	l ₁ [mm]	λ [°]
20	20	125	-1,5 ÷ +4,5

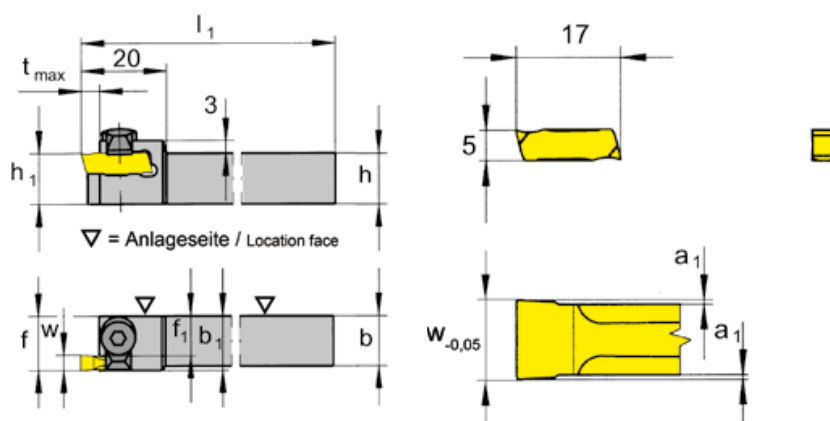
Tab. 2.10 Rozměry vyměnitelné břitové destičky závitového nože TN 16ER100M (viz obr. 2.3)

(l) [mm]	d [mm]	s [mm]	x [mm]	w [mm]
16,5	9,525	3,47	0,5	1,3

2.2.4 Zapichovací nože

Tab. 2.11 Nůž pro operaci zapichování byl vybrán z katalogu firmy Horn.

L240.2525.01	217.0060.00	Řezné vlastnosti	Materiál
		$v_c = (120 \div 180) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f = (0,02 \div 0,12) \text{ mm}$	P20



Obr. 2.4 Rozměry zapichovacího nože

Tab. 2.12 Rozměry upichovacího nože R240.2020.01 (viz obr. 2.4)

h [mm]	b [mm]	l ₁ [mm]	h ₁ [mm]	b ₁ [mm]	f ₁ [mm]	f [mm]	t _{max} [mm]
20	20	125	20	20	18,5	19,11	4

Tab. 2.13 Rozměry vyměnitelné břitové destičky upichovacího nože 217.0060.00 (viz obr. 2.4)

w [mm]	a ₁ [mm]
0,67	0,06

2.3 Materiály vyměnitelných břitových destiček

V následující kapitole jsou popsány nejdůležitější mechanické a chemické vlastnosti materiálů použitých řezných destiček.

2.3.1 T8330

Materiál je tvořen kombinací submikronových substrátů s rozdílným obsahem pojící kobaltové fáze a PVD povlaku.

- nejuniverzálnější člen řady T8300,
- submikronový substrát s relativně vysokým obsahem kobaltu,
- nano-vrstevnatý PVD povlak s gradientními přechody (obr. 2.5),
- snížené vnitřní pnutí v povlaku při zvýšení tvrdosti,
- zmenšení vrubového opotřebení na hlavním břitu,
- střední řezné rychlosti,
- vhodný pro obrábění materiálů skupiny M, P, K; podmíněně N, S, H,
- dobrá provozní spolehlivost,
- ztížené záběrové podmínky.

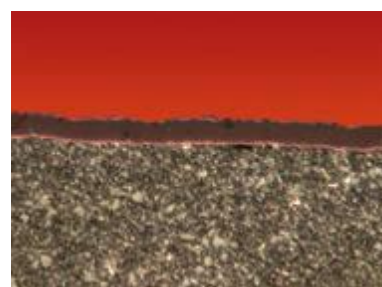


Obr. 2.5 Řez materiálem T8330

2.3.2 T8030

Povlak destičky má nanovrstevnatou strukturu na bázi TiN/TiAlN s gradientními přechody. Povrch je opatřen krycí vrstvou TiN k zabránění vzniku nárůstku a snadné identifikaci otěru destičky.

- submikronový substrát s relativně vysokým obsahem kobaltu,
- monovrstevnatý PVD povlak (viz obr. 2.6),
- snížené vnitřní pnutí v povlaku při vysoké tvrdosti,
- vysoce univerzální širokorozsahový materiál,
- zejména pro VBD k soustružení závitů,
- střední řezné rychlosti,
- vhodný pro obrábění materiálů skupiny M, P, K; podmíněně N, S, H,
- dobrá provozní spolehlivost,
- ztížené záběrové podmínky.



Obr. 2.6 Řez materiálem T8030

2.3.3 P20

Tato slitina je legovaná ocel niklem a chromem pro zvýšení tvrdosti. Tato slitina se používá nejčastěji v cementovaném stavu.

- materiál bez povlaku,
- vhodný pro obrábění materiálů skupiny P,
- pro drážkování a dokončovací práce,
- bez tendence přechování nárůstku,
- odolný proti opotřebení,
- pro nejlepší kvalitu povrchu.

2.4 FESTOOL

V téhle kapitole bude představen celý postup výroby rotoru komutátorového elektromotoru. Příkladem celého postupu výroby komutátorového elektromotoru byla zvolena technologie výroby elektromotorů ve firmě Festool s.r.o. v České Lípě.

Festool s.r.o. vyvíjí vysoce kvalitní elektrické a pneumatické nářadí pro profesionální a náročné uživatele. Od založení rodinného podniku v roce 1925 má kvalita a inovace nejvyšší prioritu. Více než 300 patentů a více než 80 vyznamenání pro produkty a podnik dokazují, že se koncentrace na podstatu vyplácí.[10]

V tabulce číslo 2.14 je naznačen technologický postup výroby rotoru komutátorového elektromotoru v závodě firmy Festool, který je dále podrobně popsán v podkapitole 2.4.1.

Tab. 2.14 Technologický postup firmy Festool

Číslo operace	Operace
1/1	Soustružení
2/2	Kontrola házení
3/3	Brus - pomocný
4/4	Frézování ozubení - Hrubování
5/5	Tepelná úprava - Nitro cementování, kalení
6/6	Rovnění
7/7	Brus - načisto
8/8	Frézování ozubení - loupání
9/9	Zástřik
10/10	Nalisování komutátoru
11/11	Vsunutí drážkové izolace
12/12	Navinutí vinutí
13/13	Svařování vinutí a komutátoru
14/14	Obšívání čel
15/15	Impregnace

2.4.1 Technologický postup firmy

Na začátku procesu výroby rotoru je válcovaná tyč kruhového průřezu. Použitý materiál pro hřídel je ušlechtilá konstrukční ocel 1.7131 (16MnCr5, 14220) legovaná Mn a Cr, je určena především k cementování, nitridování, nitrocementování.

Do CNC soustruhů značky Manurhin K'MX 432 (viz obr. 2.7) se za pomoci zásobníků materiálu vsouvají celé tyče obráběného materiálu. Soustruhy jsou zcela automatické a obrobí součásti s přesností na 0,01 mm. Po obrobení jsou na každé desáté součásti kontrolovány rozměry a každá patnáctá součást je kontrolována na obvodové házení.



Obr. 2.7 čtyřosé obráběcí centrum Manurhin K'MX 432 [3]

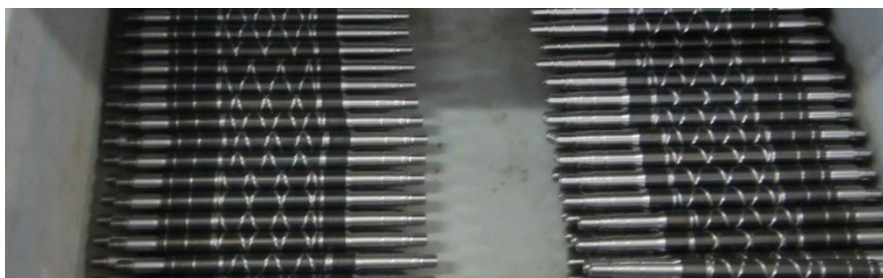
Následuje operace pomocné broušení pro zajištění vyšší rozměrové přesnosti 0,001 mm. Potom součást putuje na pracoviště frézek, kde je hrubováno ozubení.

Další operace jsou tepelné úpravy. Povrch součásti se nitro cementuje a následně se kalí. Po tepelných úpravách může být součást deformována, proto je další důležitá operace rovnání, kterou projdou všechny výrobky. Na speciálním stroji firmy Galdabini (obr. 2.8) se kontroluje házení součásti a pokud je nalezena výchylka, stroj hřídel speciálním ramenem mechanicky rovná (viz obr. 2.9).



Obr. 2.8[4] a 2.9 Rovnáci stroj firmy Galdabini PAS 25

Následují dokončovací obráběcí operace. Jako první je broušení načisto, dále frézování ozubení loupáním.



Obr. 2.10 Dokončené hřídele pro rotory

Dokončené hřídele (obr. 2.10) se přesunou do vedlejší haly, kde jsou zastříknuty plastickou hmotou, kterou jsou připevněny pakety jako magnetický obvod (obr. 2.11).



Obr. 2.11 Rotor po operaci zástřik.

Po přenesení na další pracoviště je na hřídel nalisován komutátor, dále je do drážek vsunuta drážková izolace. Drážkami je provedeno vinutí a je přivařeno na příslušné lamely komutátoru bodovým svařováním. Po těchto operacích je rotor testován pod vysokým napětím.

Nakonec se čela vinutí obšívají tkanicí a vinutí se impregnuje. Hotová hřídel (obr. 2.12) se mechanicky vyvažuje a kontrolují se její požadované elektrické vlastnosti.



Obr. 2.12 Hotový rotor komutátorového elektromotoru

3 KAPACITNÍ PROPOČET

V následující kapitole jsou naznačeny výpočty, které byly použity při návrhu a výrobě součásti. Následně jsou vypočítány kapacitní hodnoty pro výrobu součásti za jednu pracovní směnu.

3.1 Řezná rychlost v_c a posuvová rychlost v_f

Hodnoty řezné rychlosti hlavního pohybu v_c jsou vyjádřeny podle vztahu (3.1). Posuvová rychlost v_f je určena podle vztahu (3.2).

$$v_c = \pi * D * n * 10^{-3} [m * min^{-1}] \quad (3.1)$$

$$v_f = f * n [mm * min^{-1}] \quad (3.2)$$

kde: D [mm] - průměr obráběné plochy,
 n [min^{-1}] - otáčky obrobku,
 f [mm] - posuv na otáčku obrobku.

3.2 Jednotkový strojní čas

a) Strojní čas podélného soustružení válcové plochy při konstantní řezné rychlosti je určen podle vztahu (3.3).

$$t_{ASv} = \frac{L * \pi * D}{10^3 * v_c * f} [min] \quad (3.3)$$

kde: L [mm] - dráha nástroje,
 v_c [$m * min^{-1}$] - řezná rychlost,
 f [mm] - posuv na otáčku,
 D [mm] - obráběný průměr.

Strojní čas podélného soustružení při konstantních otáčkách je rovna (3.4).

$$t_{ASn} = \frac{L}{n * f} [min] \quad (3.4)$$

kde: L [mm] - dráha nástroje,
 n [min^{-1}] - otáčky vřetena,
 f [mm] - posuv na otáčku.

Dráha stroje ve směru posuvu L [mm] je dána součtem jednotlivých složek vztahu (3.5).

$$L = l + l_n + l_p [mm] \quad (3.5)$$

kde: l [mm] - délka soustružené plochy,
 l_n [mm] - délka náběhu,
 l_p [mm] - délka přeběhu.

b) Pro soustružení čelní plochy se rozlišuje jednotkový strojní čas při konstantních otáčkách obrobku t_{ASn} a obrábění konstantní řeznou rychlostí t_{ASv} . Dráha L se vypočítá podle vztahu (3.6).

$$L = \frac{[(D_{max} + 2 * l_n) - (D_{min} - 2 * l_p)]}{2} [mm] \quad (3.6)$$

- kde: D_{\max} [mm] - největší obráběný průměr,
 D_{\min} [mm] - nejmenší obráběný průměr,
 l_n [mm] - dráha náběhu,
 l_p [mm] - dráha přeběhu.

Velikost t_{ASv} se pro poměry stanoví podle vztahu (3.7).

$$t_{ASv} = \frac{\pi * [(D_{\max} + 2 * l_n)^2 - (D_{\min} - 2 * l_p)^2]}{4 * 10^3 * v_c * f} \text{ [min]} \quad (3.7)$$

- kde: v_c [m*min⁻¹] - řezná rychlost,
 f [mm] - posuv na otáčku,
 D_{\max} [mm] - největší obráběný průměr,
 D_{\min} [mm] - nejmenší obráběný průměr,
 l_n [mm] - dráha náběhu,
 l_p [mm] - dráha přeběhu.

c) Velikost t_{ASv} pro soustružení kuželové plochy je určena podle vztahu (3.8).

$$t_{AS} = \frac{\pi * \left(\frac{D_{\max} + D_{\min}}{2} \right) * \sqrt{L^2 + \left(\frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \right)^2}}{10^3 * v_c * f} \text{ [min]} \quad (3.8)$$

- kde: D_{\max} [mm] - maximální průměr obráběné kuželové plochy,
 D_{\min} [mm] - minimální průměr obráběné kuželové plochy,
 L [mm] - délka obráběné kuželové plochy,
 v_c [m*min⁻¹] - řezná rychlost,
 f [mm] - posuvová rychlost.

d) Čas rychloposuvu je určen podle vztahu (3.9).

$$t_{AV} = \frac{L_{RX}}{v_{fRX}} + \frac{L_{RY}}{v_{fRY}} + \frac{L_{RZ}}{v_{fRZ}} \text{ [min]} \quad (3.9)$$

- kde: L_{RX} [mm] - délka rychloposuvu v ose X,
 L_{RY} [mm] - délka rychloposuvu v ose Y,
 L_{RZ} [mm] - délka rychloposuvu v ose Z,
 v_{fRX} [mm*min⁻¹] - rychloposuv v ose X,
 v_{fRY} [mm*min⁻¹] - rychloposuv v ose Y,
 v_{fRZ} [mm*min⁻¹] - rychloposuv v ose Z.

e) Čas vedlejší t_N , ve kterém je obsažena například výměna nástroje, upínání a odepínání obrobku, měření součásti apod. je zpravidla určována statisticky, nebo experimentálně ve firmách.

Vedlejší čas byl stanoven jako 30 % strojního času.

Celkový čas pro danou operaci se pak vypočítá podle vztahu (3.10).

$$t_A = \sum t_{AS} + \sum t_{AV} + \sum t_N \text{ [min]} \quad (3.10)$$

3.2.1 Celkový čas operace 4/4

Výpočty všech strojních časů byly vypočítány pomocí programu Microsoft Excel 2010.

a. Strojní čas operace 4/4:

$$t_{AS} = t_{ASo} + t_{ASm} + t_{ASz} = 1,33 + 0,08 + 0,16 = 1,57 \text{ min}$$

kde: t_{ASo} [min] - strojní čas cyklu odebírání třísky (CYCLE95),

t_{ASm} [min] - strojní čas cyklu řezání závitu (CYCLE97),

t_{ASz} [min] - strojní čas cyklu zápich (CYCLE93).

b. Čas rychloposuvu operace 4/4:

$$t_{AV} = \frac{L_{RX}}{v_{fRX}} + \frac{L_{RY}}{v_{fRY}} + \frac{L_{RZ}}{v_{fRZ}} = \frac{520}{10000} + 0 + \frac{360}{10000} = 0,03 \text{ min}$$

c. Vedlejší čas operace 4/4:

$$t_N = 0,3 * 1,57 = 0,47 \text{ min}$$

d. Celkový čas t_{A4} je tedy roven:

$$t_{A4} = \sum t_{AS} + \sum t_{AV} + \sum t_N = 1,57 + 0,03 + 0,47 = 2,07 \text{ min}$$

3.2.2 Celkový čas operace 7/7

Výpočty všech strojních časů byly vypočítány pomocí programu Microsoft Excel 2010.

a. Strojní čas operace 7/7:

$$t_{AS} = t_{ASo} + t_{ASz} = 0,54 + 0,04 = 0,58 \text{ min}$$

kde: t_{ASo} [min] - strojní čas cyklu odebírání třísky (CYCLE95),

t_{ASz} [min] - strojní čas cyklu zápich (CYCLE93).

b. Čas rychloposuvu operace 7/7:

$$t_{AV} = \frac{L_{RX}}{v_{fRX}} + \frac{L_{RY}}{v_{fRY}} + \frac{L_{RZ}}{v_{fRZ}} = \frac{140}{10000} + 0 + \frac{320}{10000} = 0,03 \text{ min}$$

c. Vedlejší čas operace 7/7:

$$t_N = 0,3 * 0,58 = 0,17 \text{ min}$$

d. Celkový čas t_{A7} je tedy roven:

$$t_{A7} = \sum t_{AS} + \sum t_{AV} + \sum t_N = 0,58 + 0,03 + 0,17 = 0,78 \text{ min}$$

3.2.3 Kapacita výroby

Výrobní čas t_A k obrobení hřídele na zvoleném CNC soustruhu zabere:

$$t_A = t_{A4} + t_{A7} = 2,07 + 0,78 = 2,85 \text{ min}$$

V případě, že jedna pracovní směna je trvá $t_s = 7,5$ hodiny. Počet součástí, které by bylo za jednu směnu možno vyrobit na jednom stroji SPN12 CNC je vyjádřeno ve vztahu:

$$n_{7,5} = \frac{t_s * 60}{t_A} = \frac{7,5 * 60}{2,85} = 157 \text{ kusů}$$

3.2.4 Hmotnost odpadu

Z pohledu odpadového hospodářství patří kovové odpady ze strojírenské výroby mezi ty, které lze prakticky stoprocentně recyklovat, a to obvykle v primární technologii. Na jejich úpravu pro využití jako druhotných surovin obvykle není třeba vynakládat příliš mnoho energie. Rozdělení odpadů tvořených při výrobě je uvedeno v ČSN 42 0030 Ocelový a litinový odpad. Norma uvádí všeobecné zásady pro třídění, zkoušení, skladování, dodávání a dopravu ocelového a litinového odpadu.

Procento odpadu tvořeno při výrobě naší součásti již bylo vypočítáno v kapitole 2.4.2:

$$\eta_0 = 51,6 \%$$

Hmotnost odpadu vytvořeného za jednu pracovní směnu $m_{7,5}$ je vypočítáno podle vztahu (3.11).

$$m_{7,5} = \frac{\eta_0}{100} * m_h * n_{7,5} \quad (3.11)$$

kde: η_0 [%] - procento odpadu,
 m_h [kg] - hrubá hmotnost,
 $n_{7,5}$ [-] - počet součástí vyrobených za jednu směnu.

$$m_{7,5} = \frac{51,6}{100} * 0,219 * 157 = 17,74 \text{ kg}$$

4 SESTAVENÍ NC PROGRAMU

Obecný formát bloku pro NC řídící systémy (Heidenhain nebo Sinumerik) je tvořen posloupností jednotlivých adres.

NC program pro hřídel byl sestaven přímo na soustruhu v prostorách školních dílen pomocí řídícího systému Sinumerik 810D. Pro vyhotovení součásti byly využity soustružnické cykly pro odběr třísky, pro zápich a pro řezání závitu.

NC program v systému Sinumerik 810D je zapisován do souboru s příponou .MPF (Media Package File, což znamená „soubor balíčku médií“). V balíčku je obsažený samotný NC program a další podprogram s příponou .SPF (Still Picture interchange file Format, v překladu „soubor výměny obrazu“), ve kterém je definována kontura vyráběné součásti podle výkresové dokumentace.

Program pro výrobu součásti musel být rozdělen na dvě části kvůli tvaru kontury hřídele, protože byly k dispozici pouze levé nástroje.

4.1 Přehled použitých funkcí

Následující podkapitoly obsahují popis jednotlivých funkcí použitých v programu k výrobě součásti. Průměry všech válcových ploch na součásti byly zvětšeny o 11mm (viz kapitola číslo 5).

4.1.1 G funkce

Přípravné funkce G jsou součástí řídícího systému a jejich význam je popsán v příručce k řídícímu systému. V následující tabulce (tab. 4.1) je výběr přípravných funkcí použitých v NC programu.

Tab. 4.1 Přípravné funkce

Název	Význam
G0	Lineární interpolace rychloposuvem
G1	Lineární interpolace pracovním posuvem
G18	Volba pracovní roviny Z/X
G54	1. Nastavitelné posunutí nulového bodu
G71	Zadávání dráhy v mm
G90	Absolutní programování
G95	Posuv F [mm]
G96	Zapnutí konstantní řezné rychlosti
G97	Vypnutí konstantní řezné rychlosti (konstantní velikost otáček)

4.1.2 M funkce

Pomocné funkce M jsou součástí řízení stroje, jejich význam je obsažen v návodu k obsluze NC stroje. Závisí na konkrétní implementaci řídícího systému na konkrétním NC stroji. Výběr použitých pomocných funkcí je v tabulce

Tab. 4.2 Pomocné funkce

Název	Význam
M0	Programovatelný stop programu
M4	Start vřetena proti směru hodinových ručiček (CCW)
M8	Zapnutí chlazení
M30	Konec programu s návratem na začátek programu

4.2 Přehled použitých cyklů

Jednou z možností, jak ulehčit práci při programování NC strojů, je opakované použití zjednodušeného zápisu složitějších programovacích sekvencí, které programování zautomatizují a zrychlí.

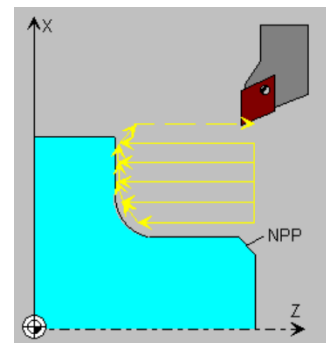
Následující použité cykly jsou běžně dostupné cykly integrované do NC řídicích systémů.

4.2.1 Cyklus odběr třísky – CYCLE95

Cyklus odběr třísky definuje čelní i podélné obrábění válcových a kuželových ploch (i tvarových ploch) podle definované kontury v podprogramu s příponou .SPF. Tvar kontury v podprogramu je tvořen funkcemi G0 a G1 (pro tvarové plochy i funkce např. G2, G3).

Obecný zápis bloku:

CYCLE95(NPP, MID, FALZ, FALX, FAL, FF1, FF2, FF3, VARI, DT, DAM, _VRT)



Obr. 4.1 CYCLE95 [6]

Tab. 4.3 Vysvětlení instrukcí cyklu CYCLE95

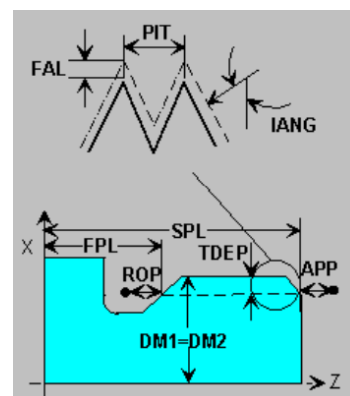
Název	Význam
NPP	Název podprogramu kontury
MID	Šířka záběru (zadávat bez znaménka)
FALZ	Přídavek na dokončení v ose Z (zadávat bez znaménka)
FALX	Přídavek na dokončení v ose X (zadávat bez znaménka)
FAL	Přídavek na dokončení dle kontury (zadávat bez znaménka)
FF1	Posuv pro hrubování
FF2	Posuv pro zanoření
FF3	Posuv pro dokončování
VARI	Způsob opracování
DT	Časová prodleva za účelem zlomení třísky při hrubování
DAM	Délka hrany, po které se přeruší každý hrubovací záběr za účelem zlomení třísky
_VRT	Dráha oddálení nástroje od kontury při hrubování (zadávat bez znaménka)

4.2.2 Cyklus řezání závitů – CYCLE97

Využitím cyklu CYCLE97 je programování jednodušší a přehlednější než použitím funkce G33. Cyklus řezání závitů umožňuje soustružení závitů s konstantním stoupáním na válcových, kuželových i čelních plochách. Výroba jednoho chodu závitu je cyklem rozdělena do více záběrů a je možné definovat technologii opracování s konstantním přírůvkem nebo konstantní plochou řezu.

Obecný zápis bloku:

CYCLE97(PIT, MPIT, SPL, FPL, DM1, DM2, APP, ROP, TDEP, FAL, IANG, NSP, NRC, NID, VARI, NUMT)



Obr. 4.2 CYCLE95[6]

Tab. 4.4 Vysvětlení instrukcí cyklu CYCLE97

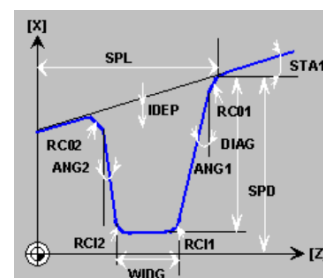
Název	Význam
PIT	Stoupání závitu jako hodnota (zadávat bez znaménka)
MPIT	Stoupání závitu jako velikost závitu ($M3 \div M60 \Rightarrow 3 \div 60$)
SPL	Počáteční bod závitu v ose Z
FPL	Koncový bod závitu v ose Z
DM1	Průměr závitu v počátečním bodu
DM2	Průměr závitu v koncovém bodu
APP	Dráha vstupu (zadávat bez znaménka)
ROP	Dráha výstupu (zadávat bez znaménka)
TDEP	Hloubka závitu (zadávat bez znaménka)
FAL	Přídavek na dokončení (zadávat bez znaménka)
IANC	Úhel přírůvu „+“ boční přírův po jednom boku, „-“, boční přírův střídavě na jednom i druhém boku
NSP	Přemístění počátečního bodu pro první chod závitu (zadávat bez znaménka)
NRC	Počet hrubovacích záběrů (zadávat bez znaménka)
NID	Počet průchodů bez záběru (zadávat bez znaménka)
VARI	Určení způsobu opracování závitu ($1 \div 4$)
NUMT	Počet chodů závitu (zadávat bez znaménka)

4.2.3 Cyklus zápich – CYCLE93

Technologie se skládá ze dvou operací. První z operací je hrubování kapsy s přídavkem na čisto postupným zapichováním. K dokončení zápichu dochází pomocí konturování povrchu zápichu, přičemž dráha nástroje je rozdělena na dvě části.

Obecný zápis bloku:

CYCLE93(SPD, SPL, WIDG, DIAG, STA1, ANG1, ANG2, RCO1, RCO2, RCI1, RCI2, FAL1, FAL2, IDEP, DTB, VARI)



Obr. 4.3 CYCLE93[6]

Tab. 4.5 Vysvětlení instrukcí cyklu CYCLE93

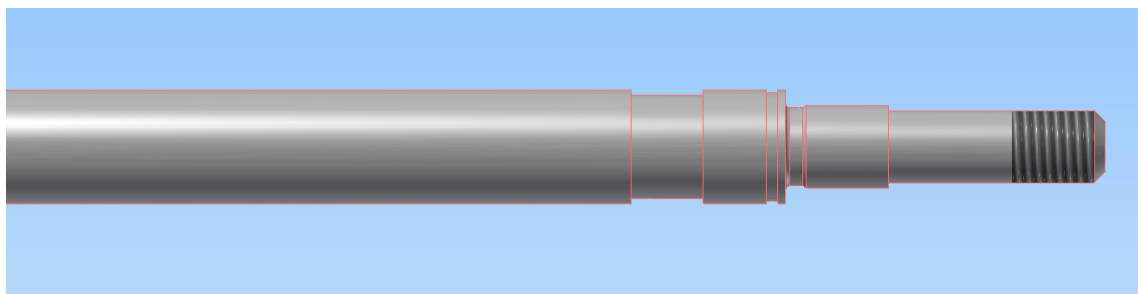
Název	Význam
SPD	Počáteční bod v ose X (zadávat bez znaménka)
SPL	Počáteční bod v ose Z (zadávat bez znaménka)
WIDG	Šířka zápichu (zadávat bez znaménka)
DIAG	Hloubka zápichu (zadávat bez znaménka)
STA1	Úhel mezi konturou a podélnou osou ($0^\circ \leq \text{STAT1} \leq 180^\circ$)
ANG1	Vrcholový úhel 1: na straně zápichu, která je určena počátečním bodem (zadávat bez znaménka) ($0^\circ \leq \text{ANG1} \leq 89,999^\circ$)
ANG2	Vrcholový úhel 2: na druhé straně (zadávat bez znaménka) ($0^\circ \leq \text{ANG2} \leq 89,999^\circ$)
RCO1	Zaoblení(+)/sražení(-) 1, vnější: na straně určené počátečním bodem
RCO2	Zaoblení(+)/sražení(-) 2, vnější: na druhé straně
RCI1	Zaoblení(+)/sražení(-) 1, vnitřní: na straně určené počátečním bodem
RCI2	Zaoblení(+)/sražení(-) 2, vnitřní: na druhé straně
FAL1	Přídavek na dokončení na dně zápichu
FAL2	Přídavek na dokončení na bocích
IDEP	Velikost přísuvu (zadávat bez znaménka)
DTB	Časová prodleva na dně zápichu
VARI	Způsob opracování 1 ÷ 8: CHF – sražení konturového rohu(délka sražení), 11 ÷ 18: CHR – sražení konturového rohu (délka sražení ve směru pohybu)

4.3 NC program

Následující NC program byl aplikován pro výrobu vzorového kusu součásti, jejíž rozměry musely být upraveny kvůli kapacitám školní dílny (více v kapitole 5). Deformovaná součást byla vyrobena ve školní dílně na soustruhu SPN12 CNC se systémem Sinumerik 810D.

4.3.1 Program číslo 1

V následující tabulce jsou vypsány jednotlivé řádky prvního programu pro obrobení hřídele ze strany, na které je závit pro připevnění pastorku (obr. 4.4). Ve sloupečku „Význam funkce“ jsou podrobně popsány jednotlivé kroky v programu.



Obr. 4.4 Obráběná strana hřídele programem OSICKA_P1.MPF

Tab. 4.6 NC program OSICKA_P1.MPF

Řádek	Název funkce	Význam funkce
N10	G54	1. Nastavitelné posunutí nulového bodu
N20	G90 G18 G95 G71	Absolutní programování Volba pracovní roviny Z/X Posuv f [mm] Zadávání dráhy v mm
N30	G0 X140 Z5	Lineární interpolace rychloposuvem
N40	H2 T2 D1	Výměna nástroje – uběrací stranový nůž
N50	G0 X30 Z1	Lineární interpolace rychloposuvem
N60	G96 S160 M4 M8	Zapnutí konstantní řezné rychlosti $v_c = 160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ Start vřetena proti směru hodinových ručiček Zapnutí chlazení
N70	CYCLE95("ROTOR_1", 2, 0, 0, 0.5, 0.1, 0.1, 0.1, 9, 0, 0, 1)	Cyklus odběr třísky (viz kapitola 5.2.1)
N80	G97	Vypnutí konstantní řezné rychlosti
N90	G0 X140 Z5	Lineární interpolace rychloposuvem
N100	H4 T4 D1	Výměna nástroje – závitový nůž
N110	M0	Programovatelný stop programu
N120	S800 M4 M8	$n = 800 \text{ min}^{-1}$ Start vřetena proti směru hodinových ručiček Zapnutí chlazení
N130	G0 X30 Z-9	Lineární interpolace rychloposuvem
N140	CYCLE97(2, 0, -9, 0, 18, 18, 1, 1, 1.227, 0.05, 30, 0, 10, 2, 3, 1, 2)	Cyklus řezání závitů (viz kapitola 5.2.2)
N150	G0 X140 Z5	Lineární interpolace rychloposuvem
N160	H3 T3 D1	Výměna nástroje – zapichovací nůž
N170	M0	Programovatelný stop programu
N180	G0 X30 Z-35	Lineární interpolace rychloposuvem
N190	S1400 M4 M8 F0.1	$n = 1400 \text{ min}^{-1}$ Start vřetena proti směru hodinových ručiček Zapnutí chlazení
N200	CYCLE93(22, -35.5, 3, 0.5, 0, 0, 0, 0.1, 0.1, 0, 0, 0, 0.5, 0, 11, 0)	Cyklus zápich (viz kapitola 5.2.3)
N210	G0 X30 Z-46	Lineární interpolace rychloposuvem
N220	CYCLE93(22, -46, 7, 0.5, 0, 0, 0, 0.1, 0.1, 0, 0, 0, 0.5, 0, 11, 0)	Cyklus zápich (viz kapitola 5.2.3)
N230	G0 X140 Z5	Lineární interpolace rychloposuvem
N240	M30	Konec programu s návratem na začátek programu

4.3.1.1 Zadání kontury

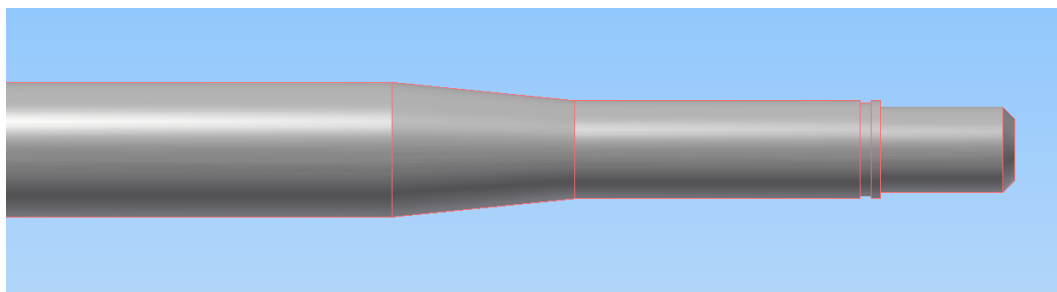
Tab. 4.7 Definovaná kontura ROTOR_1.SPF

Řádek	Název funkce	Význam funkce
N10	G18 G90 DIAMON	Volba pracovní roviny Z/X Absolutní programování Průměrové zadávání
N20	G1 Z0 X14	Lineární interpolace pracovním posuvem
N30	Z-2 X18 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1

N40	Z-21 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1
N50	X19 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1
N60	Z-31 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1
N70	X22 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1
N80	Z-142 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1
N90	X25	Lineární interpolace pracovním posuvem
N100	M30	Konec programu s návratem na začátek programu

4.3.2 Program číslo 2

Následující program byl použit pro obrobení části hřídele, kde je umístěn komutátor (část bez závitu), (viz obr. 4.5). Ve sloupečku „Význam funkce“ jsou podrobně popsány jednotlivé kroky v programu.



Obr. 4.5 Strana hřídele obráběná programem OSICKA_P2.MPF

Tab. 4.8 NC program OSICKA_P2.MPF

Řádek	Název funkce	Význam funkce
N10	G54	1. Nastavitelné posunutí nulového bodu
N20	G90 G18 G95 G71	Absolutní programování Volba pracovní roviny Z/X Posuv F [mm] Zadávání dráhy v mm
N30	G0 X140 Z5	Lineární interpolace rychloposuvem
N40	H2 T2 D1	Výměna nástroje – uběrací stranový nůž
N50	G0 X30 Z1	Lineární interpolace rychloposuvem
N60	G96 S160 M4 M8	Zapnutí konstantní řezné rychlosti $v_c = 160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ Start vřetena proti směru hodinových ručiček Zapnutí chlazení
N70	CYCLE95("ROTOR_2", 2, 0, 0, 0.5, 0.1, 0.1, 0.1, 9, 0, 0, 1)	Cyklus odběr třísky (viz kapitola 5.2.1)
N80	G97	Vypnutí konstantní řezné rychlosti
N90	G0 X140 Z5	Lineární interpolace rychloposuvem
N100	H3 T3 D1	Výměna nástroje – zapichovací nůž
N110	S1400 M4 M8 F0.1	$n = 1400 \text{ min}^{-1}$ Start vřetena proti směru hodinových ručiček Zapnutí chlazení
N120	G0 X30 Z-15	Lineární interpolace rychloposuvem
N130	CYCLE93(19, -15.5, 3, 0.5, 0, 0, 0, 0)	Cyklus zápich (viz kapitola 5.2.3)

	0.1, 0.1, 0, 0, 0, 0, 0.3, 0, 11, 0)	
N140	G0 X140 Z5	Lineární interpolace rychloposuvem
N150	M30	Konec programu s návratem na začátek programu

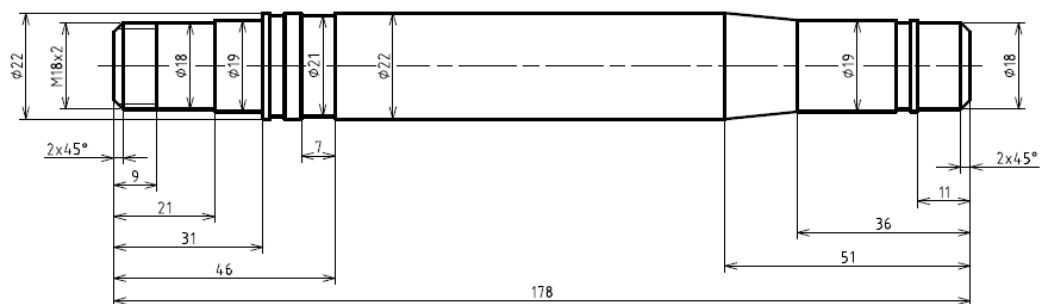
4.3.2.1 Zadání kontury

Tab. 4.9 Definovaná kontura ROTOR_2.SPF

Řádek	Název funkce	Význam funkce
N10	G18 G90 DIAMON	Volba pracovní roviny Z/X Absolutní programování Průměrové zadávání
N20	G1 Z0 X14	Lineární interpolace pracovním posuvem
N30	Z-2 X18 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1
N40	Z-11 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1
N50	X19 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1
N60	Z-36 RND=.1	Navázání na další plochu rádiusem R0,1
N70	Z-66 X25	Lineární interpolace pracovním posuvem
N80	M30	Konec programu s návratem na začátek programu

5 VÝROBA VZOROVÉHO KUSU

Z technických důvodů není možné ve školní dílně obrábět průměr menší než 16 mm. Nožová hlava je při obrábění takových průměrů v krajní poloze s koníkem a hrozí nebezpečí kolize a poškození stroje, proto byla pro fyzickou výrobu součást upravena deformací průměrů. Všechny průměry válcových ploch součásti byly zvětšeny o 11 mm (viz obr. 5.1).



Obr. 5.1 Zvětšená hřídel pro vzorovou výrobu

5.1 Výroba

Po dokončení programu následovalo několik preventivních kontrol a grafických simulací, které umožňuje používaný systém stroje.

Po odladění programu bylo provedeno několik průjezdů naprázdno, kde byly kontrolovány souřadnice nástroje kvůli případným kolizím ve stroji.

Následovaly dvě pokusné výroby součásti pro odladění řezných podmínek, aby byly dosaženy nejlepší možné vlastnosti povrchu.

Jako polotovar pro výrobu vzorového kusu byla použita válcovaná tyč kruhového průřezu o průměru 24 mm.



Obr. 5.2 Upnutý polotovar



Obr. 5.3 Upnutý obrobek po operaci 4/4
připravený k operaci 7/7



Obr. 5.4 Vyrobená hřídel

6 DISKUZE

Výroba součásti proběhla po odladění bez problémů. Průměrná aritmetická úchylka profilů je až na plochy v kapse zápichu uspokojující.

Zapichovací nůž se při zapichování drážek rozvibroval a vytvořil na povrchu kapsy zoubky. To bylo nejspíše způsobeno kombinací nedostatečného tlaku na koníku, který postupně při výrobě klesal, a příliš vysoké hodnoty zadaného přísuvu při zapichování, který způsoboval vysokou řeznou sílu.

Pro výrobu součásti byl navrhnut tyčový polotovar válcovaný za tepla o kruhovém průřezu $\Phi 14-181$ ČSN EN 10060. Výrobou z takového polotovaru se tvoří velké procento odpadu. Při výrobě z výkovků by byl odpad značně menší.

Při sériové výrobě by mohlo být výhodnější vyrábět jako polotovar výkovky, než používat tyčový polotovar.

ZÁVĚR

V bakalářské práci bylo cílem navrhnout obráběcí proces s využitím CNC stroje, tedy výrobu konkrétní hřídele od prvotního návrhu polotovaru až po finální výrobek bez operace broušení.

Navržená hřídel však musela být upravena, protože nesplňovala rozměrové kapacity CNC soustruhu ve školních dílnách. Na soustruhu SPN12 CNC s řídicím systémem Sinumerik 810D není možné obrábět průměr menší než 16 mm. Programování na stroji bylo díky modernímu systému s přehlednou grafikou relativně snadné. Grafika a rozhraní systému je uživatelsky příznivé. Použití předpřipravených cyklů a jejich grafických vysvětlivek usnadnilo návrh programu.

Pro příklad výroby byl vypočítán počet hřídelí, které je možno vyrobit za jednu pracovní dobu, a hmotnost jejich odpadního materiálu.

Pro úplnost byl uveden kompletní technologický postup při výrobě komutátorového rotoru používaný v moderním závodu Festool s.r.o., který byl předveden formou exkurze ve firmě.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. JANDEČKA, Karel. *Postprocesory a programování NC strojů*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: UJEP, FVTM, 2007, 244 s. ISBN 978-80-7044-870-0.
2. KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
3. Manurhin K'MX: CNC SWISS TYPE LATHES. *Manurhin K'MX: CNC SWISS TYPE LATHES* [online]. 2014 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.manurhin-kmx.com/>
4. Galdabini: Inovative precision system. *Galdabini: Inovative precision system* [online]. 2013 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.galdabini.it/>
5. H-Fuchs. *H-Fuchs* [online]. 2014 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.h-fuchs.cz/>
6. PÍŠKA, Miroslav a Aleš POLZER. *Popis poloautomatického soustruhu SPN12 CNC s řídicím systémem Sinumerik 810D*. 2002. Dostupné z: http://cadcam.fme.vutbr.cz/sinutrain/SPN12CNC_Sinumerik810D.pdf
7. Pramet. *Pramet* [online]. 2014 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/>
8. Hartmetall-Werkzeugfabrik Paul Horn GmbH. *Hartmetall-Werkzeugfabrik Paul Horn GmbH* [online]. 2014 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.phorn.com/cze/>
9. HAMMER, Miloš. *Elektrotechnika a elektronika: přednášky*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 134 s. ISBN 80-214-3334-5.
10. Festool Group GmbH & Co. KG.: Nářadí pro nejnáročnější. Festool Group GmbH & Co. KG.: Nářadí pro nejnáročnější [online]. 2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <https://www.festool.cz/>
11. ŠIMON, Josef. Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku. *Jak se dělá elektromotor*. 2011, č. 02, s. 52. DOI: ISSN 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/>
12. POLZER Aleš a Miroslav PÍŠKA. *Funkce řídicího systému Sinumerik 810D*. Dostupné z: <http://cadcam.fme.vutbr.cz/sinutrain/5.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CA	[-]	Computer Aided (s počítačovou podporou)
CAD	[-]	Computer aided design (systém počítačové podpory při konstruování)
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing (systém počítačové podpory výroby)
CAP	[-]	Computer Aided Planning (systém počítačové podpory plánování výroby)
CIM	[-]	Computer Integrated Manufacturing (počítačem integrovaná výroba)
CNC	[-]	Computer Numeric Control (počítačové číslicové zařízení)

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	Průměr obráběné plochy
D_{max}	[mm]	Největší obráběný průměr
D_{min}	[mm]	Nejmenší obráběný průměr
L	[mm]	Dráha nástroje
L_{RX}	[mm]	Délka rychloposuvu v ose X
L_{RY}	[mm]	Délka rychloposuvu v ose Y
L_{RZ}	[mm]	Délka rychloposuvu v ose Z
a_p	[mm]	Hloubka záběru
d	[mm]	Maximální průměr obrobku
d_p	[mm]	Průměr polotovaru
f	[mm]	Posuv na otáčku
l	[mm]	Délka obrobku
l_c	[mm]	Celková délka polotovaru
l_n	[mm]	Délka náběhu
l_p	[mm]	Délka přeběhu
m	[kg]	Čistá hmotnost
m_{7,5}	[kg]	Hmotnost odpadu za jednu směnu
m_h	[kg]	Hrubá hmotnost

Symbol	Jednotka	Popis
n	[-]	Otáčky
n_{7,5}	[-]	Počet součástí za jednu směnu ts
p	[mm]	Přídavek na průměr
p_l	[mm]	Přídavek na délku
t_A	[min]	Celkový čas
t_{A4}	[min]	Celkový čas operace 4/4
t_{A7}	[min]	Celkový čas operace 7/7
t_{AS}	[min]	Strojní čas
t_{ASm}	[min]	Strojní čas cyklu řezání závitu (CYCLE97)
t_{ASo}	[min]	Strojní čas cyklu odebrání třísky (CYCLE95)
t_{ASz}	[min]	Strojní čas cyklu zápich (CYCLE93)
t_{AV}	[min]	Čas rychloposuvu
t_N	[min]	Vedlejší čas
t_s	[hod]	Doba pracovní směny
v_c	[m*min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_{fRX}	[mm*min ⁻¹]	Rychloposuv v ose X
v_{fRY}	[mm*min ⁻¹]	Rychloposuv v ose Y
v_{fRZ}	[mm*min ⁻¹]	Rychloposuv v ose Z
η₀	[%]	Procento odpadu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti
Příloha 2	Vnější hrubovací nůž s VBD
Příloha 3	Hrubovací VBD
Příloha 4	Vnější dokončovací nůž s VBD
Příloha 5	Dokončovací VBD
Příloha 6	Vnější závitový nůž s VBD
Příloha 7	Závitová VBD
Příloha 8	Vnější zapichovací nůž s VBD
Příloha 9	Zapichovací VBD
Příloha 10	Volba startovních řezných podmínek (Horn)
Příloha 11	Volba startovních řezných podmínek (Pramet)
Příloha 12	Volba startovních řezných podmínek (Pramet)